



ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

464700

ИТЕФ--91-89

Р.М.ВЕНГРОВ, Н.Н.ВИНОГРАДСКИЙ,
Е.Н.ДАНИЛЬЦЕВ, Д.Д.ИОССЕПИАНИ,
В.С.КОСЯК, Н.И.ПОРУБАЙ, С.Б.УГАРОВ

ВЫСТАВЛЕНИЕ СЕКЦИЙ
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ
В ВАКУУМНОМ ОБЪЕМЕ

Москва – ЦНИИАтоминформ – 1989

УДК 621.384.64

М-16

ВЫСТАВЛЕНИЕ СЕКЦИЙ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ В ВАКУУМНОМ ОБЪЕМЕ:
Препринт ИТЭФ 89-91/

Р.М. Венгров, Н.Н. Виноградский, Е.Н. Данильцев и др. -
М.: ЦНИАтоминформ, 1989 - 20с.

В данной работе описана методика отстройки многосекционных ускоряющих структур, которая может быть использована при создании новых ускорителей для экспериментальных и прикладных целей.

Рис. - 5, список лит. - 8 назв.

В в е д е н и е

При создании линейных ускорителей иногда возникает необходимость выставлять их элементы на ось ускорителя (прямая линия) непосредственно в вакуумном объеме. В работах /1,2/ рассмотрены допуски на юстировку элементов апертурного канала. Из этих работ следует, что допуски исчисляются несколькими десятками микрометров на расстоянии до сотни метров.

В данной статье описана методика юстировки секций четырехкамерного резонатора непосредственно в вакуумном объеме кожуха без его разгерметизации с точностью не хуже 100 мкм.

Линейный ускоритель /3/ включает в себя четырехкамерный 8-секционный резонатор, размещенный внутри вакуумного кожуха, установленного на специальной ферме (рис.1).

Обычно процесс юстировки элементов ускорителя ведется в нормальной среде лабораторного помещения с использованием микротелескопов - визирных измерительных приборов. Апертуру трубки дрейфа или секции нагружают специальными устройствами - мишенями (осевые реперы), с помощью которых выставляют их в створ /4,5,6/.

В нашем случае с целью контроля положения элементов ускорителя в процессе работы апертурный канал свободен, а для юстировки собранных секций в вакуумном объеме кожуха в его днищах имеются смотровые окна и осевые реперы, расположенные с вакуумной

стороны. На стенках кожуха смонтированы истирочные механизмы с сильфонными развязками. Сами секции снабжены боковыми реперами, по которым определяется положение продольной оси секции (рис.2). На каждой секции было размещено по четыре репера - два на переднем и два на заднем торцах секции. Реперы представляют собой перекрестья из бронзовой проволоки диаметром 0,1 мм, натянутые внутри охранной обоймы с апертурой 20 мм. Обоймы крепились к торцам секций так, чтобы перекрестья оказывались на 70 мм ниже отметки оси секций, на 250 мм удалены по горизонтали от средней вертикальной плоскости секций.

Была проведена аттестация всех реперов всех секций. Система координат связана с ускорителем. Ось Z - вдоль направления пучка частиц - ось ускорителя. Плоскость XZ - горизонтальная и совпадает с плоскостью пучка ускорителя. Ось Y - вертикальная.

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Для создания ускоряющего поля с пространственно-однородной фокусировкой требуется изготовить профилированные электроды, поперечное сечение которых имеет вид, представленный на рис.3. При изготовлении электродов с таким профилем не удалось использовать уже известный опыт обработки электродов на токарном станке /7/ или на трехкоординатных станках с числовым программным управлением /8/. Был предложен и разработан способ изготовления электродов на фрезерном станке с ручным управлением из медной (или стальной с последующим меднением) пластины заданной толщины фрезой с полукруглой режущей кромкой. Как показали пробные работы, существует оптимальный радиус фрезы, обеспечивающий наилучшее качество обработки поверхности для каждого из электродов:

Вследствие неизбежных погрешностей при изготовлении и жесткой системы допусков потребовалось провести проверку точности электродов. Для этого был создан специальный измерительный стенд на базе проекционно-цифрового стола. В этом приборе точность измерения координат составляет около 50 мкм, что значительно уступает точности измерения координат на ранее использовавшемся универсальном измерительном микроскопе УИМ-1, однако возникает возможность автоматизировать регистрацию измерений с последующей обработкой результатов на ЭВМ.

Процедура измерений была следующей.

Электрод закреплялся на диэлектрическом измерительном столе, так чтобы модулированная часть его была направлена к движущейся вдоль стола каретке с электрическим щупом. Щуп подводится к поверхности электрода. В момент касания на ЭВМ подается сигнал с вводом данных о продольной и поперечной координате щупа. Двигая таким образом каретку с щупом вдоль модулированной поверхности электрода, получаем данные о координатах точек, лежащих на этой поверхности.

По этой методике было проведено несколько серий измерений координат поверхности каждого из электродов. Полученные результаты позволяют говорить о том, что изготовленные таким образом электроды могут быть использованы при создании ускоряюще-фокусирующего канала для ускорителя с ПОКФ.

АТТЕСТАЦИЯ СЕКЦИИ ЧЕТЫРЕХКАМЕРНОГО РЕЗОНАТОРА

Для аттестации секций был создан специальный стенд, состоящий из фермы предварительной юстировки, к которой крепятся начальная и конечная платформы (рис.4), несущие два идентичных шаблона с тремя микротелескопами с их фирменными подставками и осветителя-

ми. Как видно из рисунка, начальная платформа несет три микро-телескопа, первый эталонный шаблон (I) и крепится как к ферме ускорителя, так и к ферме предварительной юстировки. Конечная платформа несет второй эталонный шаблон (II) и три осветителя. В эталонных шаблонах прорезаны по три отверстия в каждом, центры которых снабжены проволочными перекрытиями, положение которых с матричной точностью определено на координатно-расточном станке. Координаты перекрестий следующие: центральное (0,0), два боковых (-249,840, -69,953) и (+250,124, 269,975).

Обход аттестацией секций эталонные шаблоны I и II устанавливаются в 0,3 м от первой и восьмой секций на одной и той же отметке, горизонтируются с помощью нивелира № -007, достигается их параллельность с помощью стальной рулетки с миллиметровыми делениями и контролем диагоналей.

Практически процедура обмера секций заключается в определении координат центров боковых реперов относительно оси апертурного канала секции.

Аттестация включает в себя следующие операции:

- на торцы электродов наклеиваются проволочные перекрестия (диаметр проволоки 60 мкм), которые устанавливаются с помощью плиток Могансона под контролем нивелира № -007 с последующей проверкой после вмяхания клея (через сутки);

- устанавливается ферма предварительной юстировки с платформами для двух эталонных шаблонов и трех микротелескопов (двух ЛИС-II и "Тейлор-Гобсон"), обеспечивается параллельность шаблонов, их горизонтальность и одинаковый уровень;

- на ферме устанавливаются в должном порядке все 8 секций, на каждой из которых размещено по 4 боковых репера, два на переднем и два на заднем торцах;

- центральный микротелескоп выставляется на ось, соединяющую центральные перекрестия двух эталонных шаблонов;

- на визирную ось центрального микротелескопа выставляются перекрестия всех секций, электроды которых горизонтируются с помощью нивелира *Ni -007*;

- боковые микротелескопы ШПС-II выставляются на оси, заданные боковыми перекрестиями (I) и (II) шаблонов;

- производится настройка резонатора (под контролем телескопов) на нужную длину волны при азимутальном и продольном выравнивании полей;

- производится аттестация всех реперов всех секций.

С помощью микрометров боковых ШПС-II последовательно измеряют отклонения перекрестий реперов секций от осей, заданных боковыми микротелескопами. Такие измерения проведены дважды независимо. В результате были получены координаты боковых реперов относительно оси апертурного канала резонатора (табл. I).

ВЫСТАВЛЕНИЕ СЕКЦИИ РЕЗОНАТОРА В ВАКУУМНОМ ОБЪЕМЕ КОЖУХА

Выставление секций в вакуумном объеме кожуха проводится в два этапа.

На первом этапе - смотровые окна открыты - юстировка включает в себя следующие шаги:

- секции моются, устанавливаются в должном порядке на ферме предварительной юстировки состыкованной с кожухом (рис. 5), соединяются перемычками и в сборе вкатываются в кожух; с помощью механизмов юстировки, вакуумноплотно заделанных в кожухе (16 механизмов на каждую секцию), все секции снимаются с рельсов и поднимаются до примерного совпадения их апертур с продольной осью

кожуха;

- кожух закрывается стальными днищами, в которых для юстировки и последующего контроля имеются смотровые окна из оптического стекла, внутри которых встроены осевые реперы - проволочные перекрестия, задающие боковые оси реперов секций;

- спереди и сзади кожуха устанавливаются платформы, первая из которых несет эталонный шаблон (I) с тремя реперными перекрестиями и три микротелескопа со своими регулировочными подставками, а вторая - идентичный эталонный шаблон (II) с тремя осветителями;

- на фланцы кожуха натягиваются проволочные перекрестия, фиксирующие ось кожуха, а центральный микротелескоп выставляется на ось, проходящую через перекрестия фланцев кожуха;

- на визирную ось центрального микротелескопа выставляются центральные перекрестия (I) и (II) эталонных шаблонов; шаблоны горизонтируются нивелиром и устанавливаются на одинаковом уровне; на оси, проходящие через боковые перекрестия (I) и (II) шаблонов, выставляются боковые микротелескопы ПИС-II;

- на визирные оси боковых телескопов ПИС-II по аттестационным данным поочередно выставляются (с помощью механизмов юстировки) реперы всех секций; при проведении этих операций необходимо участие двух наблюдателей, следящих одновременно за перемещением секций способом приближений, и двух механиков, работающих по обе стороны кожуха;

- после окончания процесса юстировки совершенно обязательной является проведение исполнительной съемки, в том числе и осевых реперов - хранителей створных линий; кроме того ось резонатора оптически выносится в пространство и фиксируется стенными реперами с точностью около 0,1 мм.

На втором этапе смотровые окна вакуумноплотно закрыты плоско-параллельными оптическими стеклами марки К9, диаметром 60 мм и толщиной 10 мм. Визирные оси боковых микротелескопов выставлялись по внутренним осевым реперам. В связи с необходимой подстройкой резонатора для ВЧ-положение секции корректировалось в пределах до 200 мкм через оптические стекла. Процедура выставления секций при вакууме обычная. Два наблюдателя определяют положение секции исполнительной съемкой. По их команде два оператора-механика выравнивают секцию до проектного положения сначала по ΔY_i , а затем по ΔX_i способом приближений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В связи с тем, что механизмы юстировки жестко соединены с кожухом, стенки которого прогибаются под атмосферным давлением, удерживаемые механизмами юстировки секции также могут смещаться при вакуумировании. Потребовалось исследовать, не будет ли нарушаться юстировка при откачке и напуске воздуха в кожух. Все секции резонатора были зафиксированы после юстировки. Снова за другой были проведены три исполнительные съемки: первая - при вакууме, вторая - после напуска атмосферы и третья - после повторной вакуумной откачки. Результаты измерений представлены в табл.2-4. В табл.5 даны разности координат реперов от первой съемки ко второй, от второй к третьей, показывающие с точностью до ошибок измерения (< 30 мкм) сдвиги секций. Отклонения доходили до 100 мкм, но средние отклонения равнялись $x_2 - x_1 = +42$ мкм, $x_3 - x_2 = -36$ мкм, $x_3 - x_1 = +6$ мкм. Ни одна секция не получила смещения равного или близкого к величине предельно допустимой - 0,3 мм, а в среднем оказалась на порядок меньше. Вероятно столь незначительные смещения секций обусловлены аксиаль-

но-симметричным расположением механизмов юстировки.

Неоднократные вакуумные откачки и напуски атмосферы в кожух не вызвали существенных изменений положения секций. Смещения не превышали 100 мкм. Самопроизвольные перемещения секций (за интервал времени в несколько месяцев) также не превышали 100 мкм.

В Н В О Д И

1. Разработанная методика оправдала себя полностью, так как она позволяет постоянно в процессе работы ускорителя контролировать состояние юстировки секций без вскрытия кожуха ускорителя и напуска в него атмосферы.

2. Наличие реперных устройств вне ускоряющей структуры позволяет проводить исследование электромагнитных свойств ускорителя в процессе юстировки.

3. Данная методика убыстряет юстировку при повторном монтаже или при изготовлении ускорителей для прикладных целей.

Авторы выражают глубокую благодарность за помощь в работе и обсуждения результатов Гусеву М.Л., Капчинскому И.М., Козлаеву А.М., Кушину В.В., Никитину А.А., Плотникову С.В., Эдемскому В.И.

Таблица I

Аттестационная таблица горизонтальных (X) и вертикальных (Y) координат левых и правых, начальных (Н) и конечных (К) реперов секций.

№ секции	Левая сторона		Правая сторона	
	X мкм	Y мкм	X мкм	Y мкм
1	Н - 140	-90	+80	+240
	К - 80	-390	+60	+120
2	Н - 665	+500	-615	-70
	К - 100	+120	- 140	-470
3	Н - 310	-140	-420	-150
	К +190	-90	+180	+170
4	Н - 190	+200	-130	-640
	К -130	+660	-90	+210
5	Н + 20	+450	+150	-460
	К + 530	+1220	+400	-390
6	Н - 370	-890	-480	+100
	К + 150	-1050	+90	+140
7	Н - 700	-650	-890	-220
	К - 420	-620	-100	+10
8	Н - 110	-220	-90	+220
	К + 840	-250	+780	+670

Исполнительная съемка.
Условия: Резонатор в кожухе. Вакуум.
Наблюдение через смотровые окна.

№/с секций	$X_{пр.}$ (мм)		$Y_{лев.}$ (мм)	$Y_{пр.}$ (мм)
1	H	+ 60	-130	+110
	K	+10	-340	+160
2	H	-630	+480	-90
	K	-150	+140	-490
3	H	-500	-180	+230
	K	+80	-160	+230
4	H	-170	+210	-570
	K	-130	+490	+210
5	H	+160	+460	-340
	K	+450	+1180	-370
6	H	-520		+100
	K	+50	-1150	+150
7	H	-840	-700	-190
	K	-90	-700	+30
8	H	-90	-270	+150
	K	+750	-290	+720

Таблица 3

Исполнительная съемка.

Условия: Резонатор в кожухе. Атмосфера. Наблюдение через смотровые окна.

№ секции		$X_{пр.}$ (мм)	$Y_{лев.}$ (мм)	$Y_{пр.}$ (мм)
I	H	+60	-120	+130
	K	+40	-340	+180
2	H	-630	+530	-120
	K	-90	+130	-510
3	H	-430	-130	+240
	K	+160	-140	+230
4	H	-70	+250	-610
	K	-100	+540	+190
5	H	+180	+450	-360
	K	+520	+1230	-380
6	H	-440		+110
	K	+80	-1150	+150
7	H	-810	-710	-210
	K	-60	-680	+10
8	H	-40	-260	+130
	K	+750	-300	+720

Таблица 4

Исполнительная съемка. Условия: Резонатор в кожухе
Вакуум
Наблюдение через смотровые окна

№ секции	$X_{пр.}$ (мкм)	$Y_{лос.}$ (мкм)	$Y_{пр.}$ (мкм)
1	H +10	-10	+210
	K +50	-270	+260
2	H -680	+520	-50
	K -100	+70	-500
3	H -450	-80	+280
	K +130	-140	+260
4	H -170	+190	-580
	K -140	+470	+170
5	H +140	+450	-380
	K +480	+1150	-440
6	H -480		+90
	K +30	-1200	+120
7	H -840	-720	-180
	K -100	-700	0
8	H -90	-270	+140
	K +740	-300	+720

Таблица 5

Смещения секций при напуске атмосферы (2-1), при откачке (3-2) и невозрат в исходное положение вследствие этих двух процессов. Разности в мм.

Секции	$X_2 - X_1$	$X_3 - X_2$	$X_3 - X_1$	$Y_{A2} - Y_{A1}$	$Y_{A3} - Y_{A2}$	$Y_{A3} - Y_{A1}$	$Y_{пр2} - Y_{пр1}$	$Y_{пр3} - Y_{пр2}$	$Y_{пр3} - Y_{пр1}$	
I	Н	0	-50	-50	+10	+110	+120	+20	+80	+100
	К	+30	+10	+40	0	+70	+70	+20	+80	+100
2	Н	0	-50	-50	+50	-10	+40	-30	+70	+40
	К	+60	-10	+50	-10	-60	-70	-20	+10	-10
3	Н	+70	-20	+50	+50	+50	+100	+10	+40	+50
	К	+80	-30	+50	+20	0	+20	0	+30	+30
4	Н	+100	-100	0	+40	-60	-20	-40	+30	-10
	К	+30	-40	-10	+50	-70	-20	-20	-20	-40
5	Н	+20	-40	-20	-10	0	-10	-20	-20	-40
	К	+70	-40	+30	+50	-80	-30	-10	-60	-70
6	Н	+80	-40	+40	-	-	-	+10	-20	-10
	К	+30	-50	-20	0	-50	-50	0	-30	-30
7	Н	+30	-30	0	-10	-10	-20	-20	+30	+10
	К	+30	-40	-10	+20	-20	0	-20	+10	-30
8	Н	+50	-50	0	+10	-10	0	-20	-10	-10
	К	0	-10	-10	-10	0	-10	0	0	0

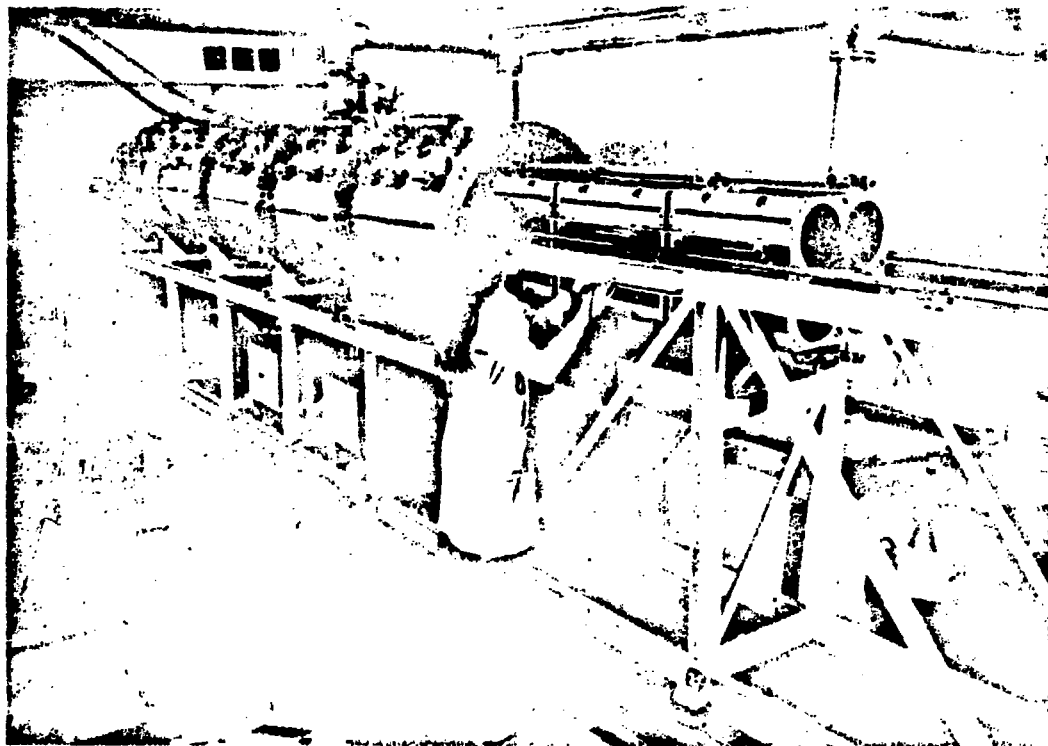


Рис. I. Общий вид ускорителя на ферме.

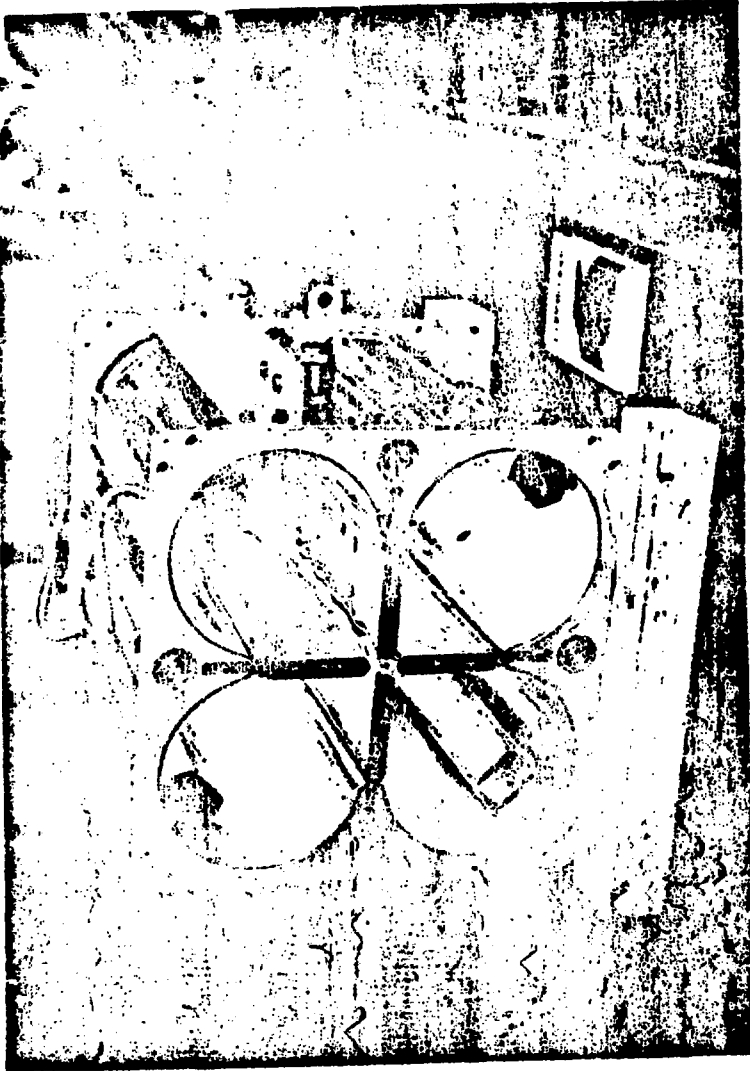


Рис. 2. Общий вид секции с боковыми реперами.

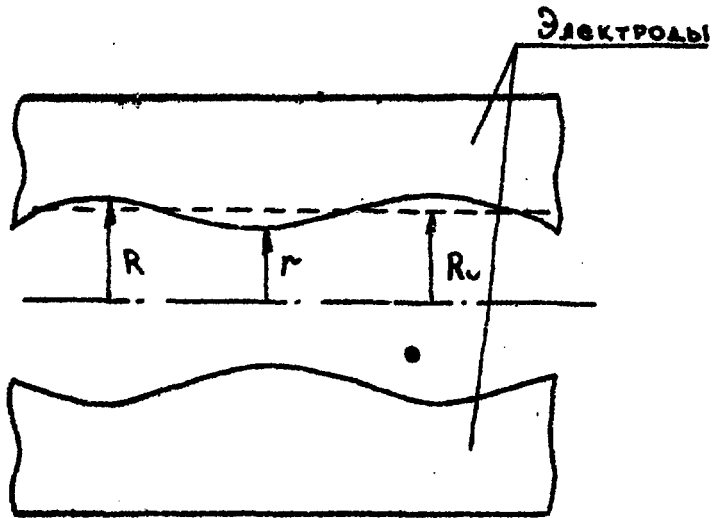


Рис.3 Электроды с синусоидальной модуляцией.

R_0 — средний радиус канала,
 R — максимальный радиус канала,
 r — минимальный радиус канала.

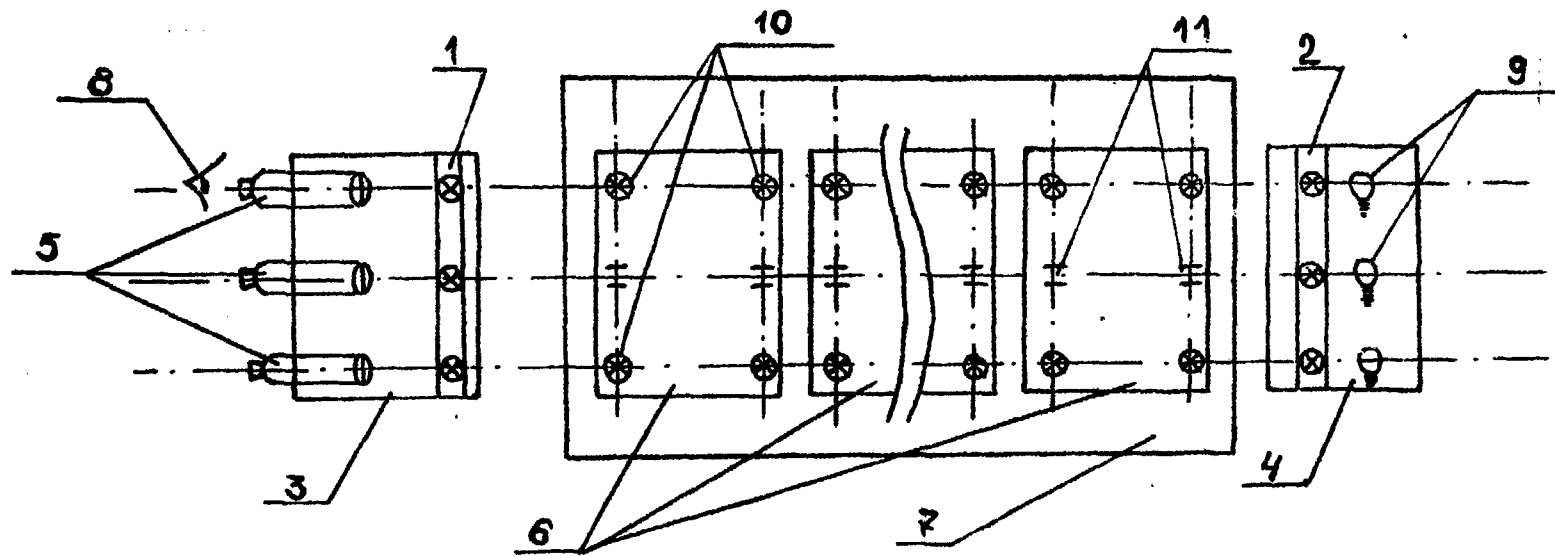


Рис. 4. Схема стенда аттестации секций.

1. Первый эталонный шаблон (I)
2. Второй эталонный шаблон (II)
3. Начальная платформа.
4. Конечная платформа.
5. Микротелескопы.
6. Секции резонатора.
7. Ферма предварительной юстировки.
8. Наблюдатель.
9. Подсветка.
10. Репера
11. Съёмные перекрестия на электродах.

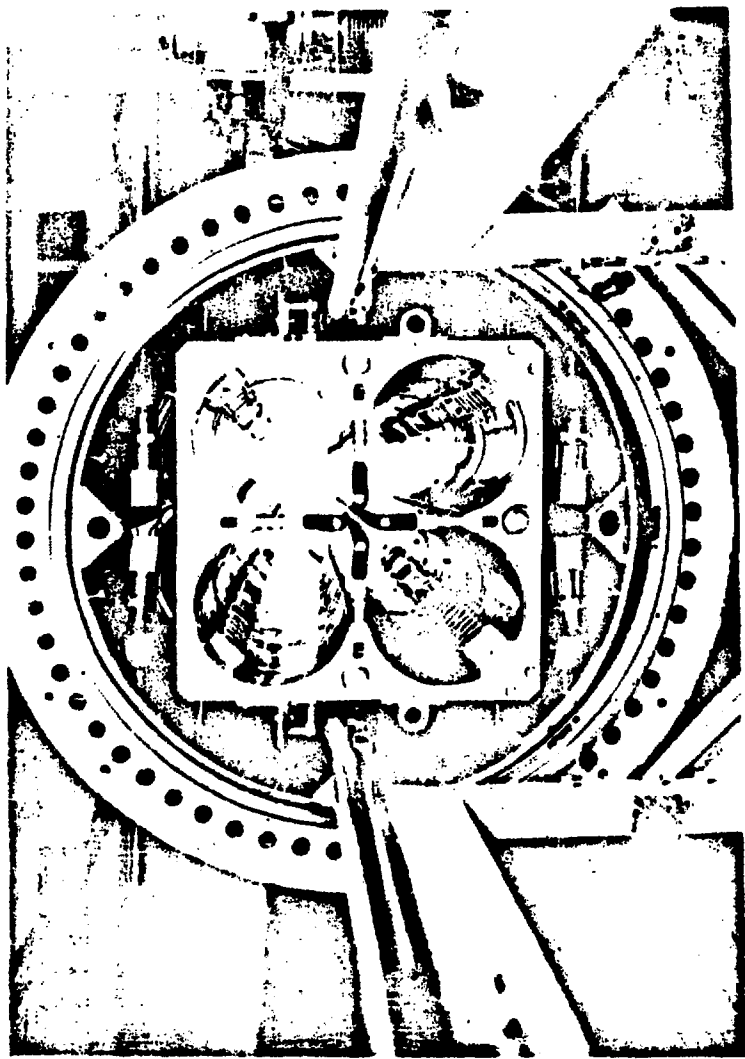


Рис. 5. Вид на секции в вакуумном кожухе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Капчинский И.М., Плотников В.К. //ПТЭ, 1967, № 5, с.12.
2. Капчинский И.М. Препринт ИФВЭ, ИИИ 72-30, Серпухов, 1972.
3. Капчинский И.М. Разработка и запуск протонного линейного ускорителя с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой ИТЭФ. В сб.: Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Техника физического эксперимента, Харьков, 1983, вып.3(15), с. 3.
4. Хесед Е.А. Остировка трубок дрейфа.//ПТЭ, 1967, № 5, с.55.
5. Данильцев Е.Н., Порубай Н.И. Контроль остировки трубок дрейфа линейного ускорителя И-2. М., Препринт ИТЭФ, 1975, № 16.
6. Виноградский Н.Н. и др. Остировка многосекционного линейного ускорителя с модулированными электродами. М., Препринт ИТЭФ, 1987, № 142.
7. Мальцев А.П., Степанов В.Б., Телляков В.А. Препринт ИФВЭ, ИИИ71-116, 1971, Серпухов.
8. Stovall J.E., Crandall K.R., Hamm R.W. Proc. 6-th Conf. on Appl. of Acc. in Research and Industry, Denton, IEEE NS-28, 1981, p.1508.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	1
Проверка точности изготовления электродов.....	2
Аттестация секций четырехкамерного резонатора	3
Выставление секций резонатора в вакуумно объеме кокуха	5
Результаты.....	7
Выводы	8
Литература	19

Р.М.Венгров и др.

Выставление секций линейного ускорителя в вакуумном объеме.

Редактор Н.П.Леонова

Корректор О.П.Ольховникова

Работа поступила в СИТИ 26.05.89

Подписано к печати 26.06.89

Т07860

Формат 60x90 1/16

Офсетн.печ. Усл.-печ.л.1,25. Уч.-изд.л.0,9. Тираж 150 экз.

Заказ 91

Индекс 3649

Цена 13 коп.

Отпечатано в ИТЭЭ, П17259, Москва, Б.Черемушкинская, 25

